

李丽平, 王盘兴, 管兆勇. 2009. 热带对流和环流季内振荡强度与海表温度关系对比研究 [J]. 大气科学, 33 (4): 771–782. Li Liping, Wang Panxing, Guan Zhaoyong. 2009. The comparison between relationships of intraseasonal oscillation intensity of tropical convection and circulation with sea surface temperature [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (4): 771–782.

热带对流和环流季内振荡强度与 海表温度关系对比研究

李丽平 王盘兴 管兆勇

南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室和大气科学学院, 南京 210044

摘 要 利用外逸长波辐射 (OLR)、风场和海表温度 (SST) 资料, 研究了热带大气季节内振荡 (ISO) 强度的季节变化特征, 发现热带印度洋和热带西太平洋区域是 OLR 和风场季内振荡最主要的共同活跃区。对比分析了 OLR 和风场季内振荡强度与海表温度异常之间的年际异常关系, 发现 OLR 季内振荡强度异常与海表温度异常之间存在显著局地正相关关系, 即在热带中东太平洋区域、热带西北太平洋区域和热带西南太平洋区域, 当海表温度正 (负) 异常时, OLR 季内振荡增强 (减弱), 特别在冬春季节这一关系更清楚。除个别区域外, 风场季内振荡强度异常与海表温度异常不存在类似 OLR 的局地关系。OLR 和风场季内振荡强度异常与海表温度异常之间局地和非局地关系的差异, 体现了两种要素特性的本质差异。但两种要素季内振荡强度在 El Niño 事件发展过程中的变化基本一致, 即在气候场中季内振荡活跃的区域, 事件发生之前季内振荡会增强, 并逐渐向东传播, 事件发生之后这些区域振荡减弱。

关键词 大气季内振荡 海表温度 El Niño

文章编号 1006–9895 (2009) 04–0771–12

中图分类号 P463

文献标识码 A

The Comparison between Relationships of Intraseasonal Oscillation Intensity of Tropical Convection and Circulation with Sea Surface Temperature

LI Liping, WANG Panxing, and GUAN Zhaoyong

Ministry of Education Key Laboratory of Meteorological Disaster of Cooperation of Ministries and Provincial Governments, and College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract By using Outgoing Longwave Radiation (OLR, denoting convection), and wind (denoting circulation) and sea surface temperature (SST) data, the seasonal characteristics of intraseasonal oscillation (ISO) intensity of tropical atmosphere are studied, it is found that ISO is the most active in the tropical Indian Ocean and the tropical western Pacific for climatological OLR, 200-hPa and 850-hPa zonal wind fields. The relationships of intraseasonal oscillation intensity anomaly of tropical OLR and zonal wind with sea surface temperature anomaly (SSTA) are investigated individually, and their differences are compared. There is a notable local positive correlation between OLR intraseasonal intensity anomaly and SSTA, and the positive (negative) anomaly of OLR intensity lies in the ar-

收稿日期 2007–12–10, 2008–03–20 收修定稿

资助项目 国家科技支撑计划项目 2007EAC29B02, 国家自然科学基金资助项目 40675025, 留学归国人员基金项目 80185, 气象灾害省部共建教育部重点实验室项目 KLME060101

作者简介 李丽平, 女, 1971 年出生, 博士, 副教授, 主要从事区域气候与海陆气相互作用、低频振荡等方面的研究。
E-mail: liliping@nuist.edu.cn

east where SSTA is positive (negative) in the tropical middle and eastern Pacific, the tropical northwestern Pacific and the tropical southwestern Pacific, which is clearer in the boreal winter and spring. There is no certain local relationship between ISO intensity anomaly of zonal wind and SSTA. The above conclusions reflect the intrinsic differences between two types of elements, which are local and nonlocal properties for OLR and zonal wind individually. The variations of intraseasonal oscillation intensity for two types of elements during El Niño events are basically consistent, that is, the ISO will strengthen before El Niño events and propagates eastward, then weaken subsequently in the active ISO areas of climatological fields.

Key words atmospheric intraseasonal oscillation, sea surface temperature, El Niño

1 引言

近十多年来,关于季节内振荡的研究,包括其大尺度和多尺度结构、不同尺度之间的相互作用、海气相互作用、季节内振荡的预测、机制及其对 ENSO 的影响均已取得丰硕成果(李崇银, 2004; Zhang, 2005; Lau et al., 2005; Wang, 2005; 蒋国荣等, 2005; 董敏等, 2007; 琚建华等, 2008)。近期,人们也很关注全球增暖对季节内振荡的影响(刘芸芸等, 2006; 俞永强等, 2007)。

热带大气季节内振荡与海表温度的关系一直倍受国内外大气科学家关注,其中,热带大气季节内振荡强度异常与海表温度异常(特别是 El Niño 型海温异常)的关系又是一个重要的研究分支。早有许多研究认为季节内振荡可能是 ENSO 事件的激发机制,且 El Niño 事件发生之前有强热带大气季节内振荡活动,事件发生后季节内振荡强度明显减弱(Madden et al., 1994)。陈隆勋等(1987)对外逸长波辐射(OLR)的资料分析发现,在 El Niño 事件发生之前,东半球赤道附近的季节内振荡异常活跃,并且在印度洋和西太平洋各有一个显著的振荡中心,具有明显向东传播特征。事件发生后,东半球振荡减弱,上述的振荡中心消失。李崇银等(1994, 1998a)和龙振夏等(2001)的资料分析指出,在 El Niño 事件发生之前,热带大气(尤其是赤道中西太平洋地区)季节内振荡异常加强;伴随 El Niño 事件的发生,热带大气季节内振荡强度明显减弱。Kousky et al. (1994)和 Slingo et al. (1996)指出,季节内振荡在 El Niño 年趋于不太活跃。Kessler et al. (2000)指出,在 1997~1998 年暖事件的模拟中,太平洋大气季节内振荡增强了的 SST 异常占 30%。Harrison et al. (1984)指出,在一个简化的模式中,由西太平洋高频风场强迫产生的 Kelvin 波和东太平洋背景热力结构之间的非线

性相互作用能导致一个异常的低频增暖趋势。

另有一些研究结果对季节内振荡与 ENSO 的关系提出异议。Slingo et al. (1999)和 Hendon et al. (1999)指出,热带大气季节内振荡的年际变化和 ENSO 事件之间只有非常弱的负同时性相关。除季节内振荡的向东传播,在不同的暖事件期间看起来不存在其他共同现象(Anyambra et al., 1995; Bergman et al., 2001)。Bergman et al. (2001)指出,季节内振荡可能与 El Niño 事件的发生时间和最初的发展有关,并且可能通过非线性相互作用有助于 SST 的增暖,而不是对事件本身的响应。Zebiak (1989)的数值试验指出,大气季节内变率对 ENSO 的影响是弱的。

综上所述,关于热带大气季节内振荡与海表温度异常的关系还存在一定争议,一种观点认为热带大气季节内振荡可能是 ENSO 事件的激发机制,且在 El Niño 事件发生之前增强,事件之后减弱;另一种观点认为热带大气季节内振荡不是对 El Niño 事件本身的响应,即二者的年际异常关系很弱。导致这些结论差异的原因之一可能与研究所选要素本身特性有关。观测事实已显示,热带大气季节内振荡是大气环流和深厚对流的大尺度耦合模态,其信号表现在很多要素或变量中(Zhang, 2005)。对流是一种局地性很强的大气现象,而环流是一种大范围空气运行的大气现象,表征对流和环流的要素特性必然也存在局地性和非局地性(大范围)的差异,基于这些特性不同的大气要素的季节内振荡与海表温度关系的研究必然造成结果的差异。本文利用代表对流状况的 OLR 资料和环流状况的风场资料,分析热带对流和环流季节内振荡强度的季节变化及年际异常特征,对比研究它们与海表温度异常及 El Niño 事件的关系,力求给出热带对流和环流季内振荡强度与海表温度异常之间的一个较清晰的关系,这对进一步明确热带大气季节内振荡和 ENSO

的产生和维持机制都具有重要意义。

2 资料及方法

2.1 资料

本文采用了外逸长波辐射 (OLR)、风场和海表温度资料。其中, NCAR/NOAA 的逐日 OLR 资料, 时间序列长度为 1979 年 1 月 1 日~2000 年 9 月 19 日共 7933 天, 分辨率 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$; NCEP/NCAR 的 200 hPa 和 850 hPa 的逐日和逐月风场资料, 时间序列长度为 1948 年~2002 年; 英国气象局整编的全球逐月 SST 格点资料, 时间长度为 1978~2001 年, 分辨率 $2^\circ \times 2^\circ$ 。

2.2 季内振荡强度指数定义

本文所用的描述要素季内振荡强度的指数 E 定义如下。

对逐个格点、多年的要素 f 资料序列, 首先去除其季节循环得到 $\hat{f}$ (Madden et al., 1994), 再用参数 $n = 182$ 天的 Lanczos 带通滤波器 (Duchon, 1979) 滤出季内振荡分量 $\tilde{f}$ 。取 12 月 1 日、3 月 1 日、6 月 1 日、9 月 1 日为北半球冬、春、夏、秋季开始日, 各季长 90 日, 对第 t_y 年、 t_s 季、第 t_d 日、 (i, j) 点的某要素序列 $f(i, j, t_d, t_s, t_y)$, 表征该要素场在第 t_y 年、第 t_s 季季内振荡分量强度的指数

$$\tilde{E}_f(i, j, t_s, t_y) = \sum_{t_d=1}^{90} \tilde{f}^2(i, j, t_d, t_s, t_y) / 90 \quad (1)$$

以及总强度指数

$$\hat{E}_f(i, j, t_s, t_y) = \sum_{t_d=1}^{90} \hat{f}^2(i, j, t_d, t_s, t_y) / 90. \quad (2)$$

由 (1)、(2) 式可得到表征要素 t_s 季多年平均的季内振荡强度和总强度的指数, 分别记为

$$\bar{\tilde{E}}_f(i, j, t_s) = \sum_{t_y=1}^m \tilde{E}_f(i, j, t_s, t_y) / m, \quad (3)$$

$$\bar{\hat{E}}_f(i, j, t_s) = \sum_{t_y=1}^m \hat{E}_f(i, j, t_s, t_y) / m, \quad (4)$$

以及它们的比值

$$\bar{\rho}(i, j, t_s) = \bar{\tilde{E}}_f(i, j, t_s) / \bar{\hat{E}}_f(i, j, t_s) \times 100(\%). \quad (5)$$

其中, m 为总年数。(3)~(5) 式定义的参数将用于分析要素季内振荡强度的季节变化特征, (1) 式定义的参数用于分析其年际异常特征。

另外, 利用 200 hPa 和 850 hPa 逐月风场资料

计算了相应的辐散风场 (丁一汇, 1989), 研究中还使用了滤波、奇异值分解等方法。

3 OLR 和风场季内振荡强度季节变化特征

图 1 给出 OLR 的多年平均季内振荡强度分布情况。可见, 热带印度洋和热带西太平洋区域常年存在强季内振荡, 北半球冬、春季 (下文的春夏秋冬均指北半球的季节) 最强, 范围最大, 中心偏于夏半球。其他区域如南美东部、非洲东南部和墨西哥附近在一些季内振荡也较强。OLR 的季内振荡强度百分比图 (图 2) 显示, 热带印度洋中部、热带西太平洋、非洲东南部全年均为强季内振荡区域。这些结论也验证了早期用 OLR 作为分析对象所得的结论 (Knutson et al., 1986)。高海温以及伴随的环流场低层辐合、高层辐散决定了最强 OLR 季内振荡所在的区域及其位置的季节变化 (李丽平等, 2008)。以往研究也曾指出, 热带大气季内振荡最强中心位置的季节变化与热带辐合带 (ITCZ) 的平均位置有关 (Madden et al., 1994)。

图 3 给出 200 hPa 纬向风场 u 的季内振荡强度分布。可见, 最强的 u 季内振荡主要位于 $30^\circ\text{N} \sim 60^\circ\text{N}$ 和 $30^\circ\text{S} \sim 60^\circ\text{S}$ 的中纬度区域, 北半球中心位于北太平洋和北大西洋区域, 冬、春季强于夏、秋季, 北半球强于南半球。对于 850 hPa 纬向风场 (图略), 除了北、南半球中高纬仍然是最强的 ISO 活动区外, 在热带印度洋和热带西太平洋季内振荡也较强。由于中纬度一般是西风急流所在位置, 故季内振荡强度在中纬度区域最大也就不难理解, 但季内振荡在各个纬带的相对重要性如何? 这就需要看 ISO 强度百分比分布情况。

图 4 给出了 200 hPa 纬向风场季内振荡强度百分比图。季内振荡强度百分比大值带分别位于热带和高纬地区。热带印度洋、热带西太平洋、热带东太平洋的季内振荡终年都占较大比重, 且冬半年大于夏半年。另外, 非洲东部、中太平洋区域、南美中部以及赤道大西洋也有较大的季内振荡强度比值。850 hPa 纬向风场的季内振荡强度百分比 (图 5) 高值中心主要位于热带印度洋、热带西太平洋区域和赤道以北的大西洋东部区域。

可见, 无论对流层高层或低层风场, 热带印度洋、热带西太平洋的季内振荡都很活跃。

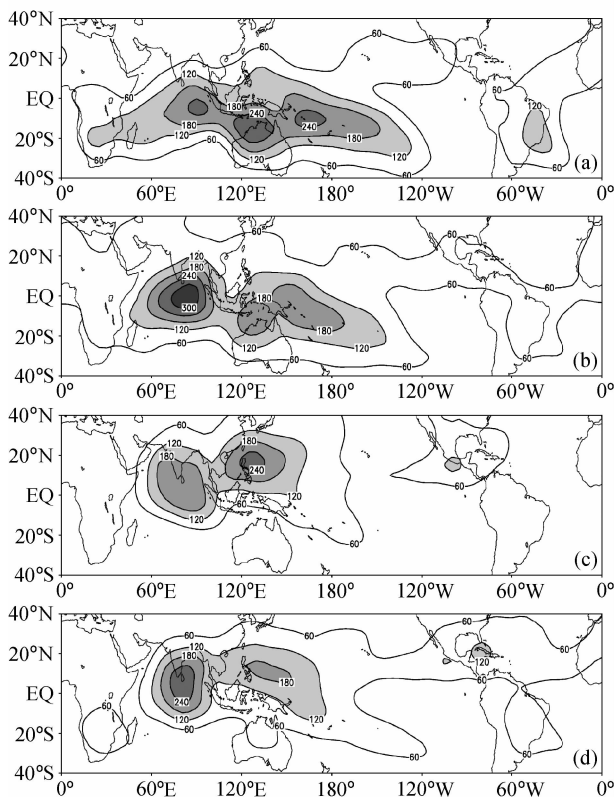


图1 多年平均的 OLR 季节内振荡强度分布图 (单位: W^2/m^4): (a) 12~2 月; (b) 3~5 月; (c) 6~8 月; (d) 9~11 月。阴影: $>120 W^2/m^4$

Fig. 1 Seasonal mean outgoing longwave radiation (OLR) intraseasonal oscillation (ISO) intensity (W^2/m^4): (a) Dec - Feb; (b) Mar - May; (c) Jun - Aug; (d) Sep - Nov. Shaded values $>120 W^2/m^4$

4 OLR 季内振荡强度与海表温度年际异常关系

为研究 OLR 季内振荡强度异常与海表温度异常的关系, 截取三种资料即 OLR 季内振荡强度异常、SST 距平和辐散风场异常 (200 hPa、850 hPa) 的共同时段, 即 1980 年 1 月~1999 年 12 月共 240 个月, 空间范围取为 ($30^{\circ}S \sim 30^{\circ}N$, $30^{\circ}E \sim 120^{\circ}W$)。对四个季节的 SST 距平、辐散风场异常 (200 hPa、850 hPa) 与 OLR 季内振荡强度异常作奇异值分解 (SVD) (王盘兴等, 1997), 第一模态均通过信度 $\alpha=0.05$ 的 Monte Carlo 显著性检验, 下面仅讨论各季 SVD 第一模态。

图 6、7 给出冬季 (12~2 月) OLR 季内振荡强度异常分别与 SST 距平、辐散风场异常 (200 hPa、850 hPa) 的 SVD 第一奇异向量及时间系数。可

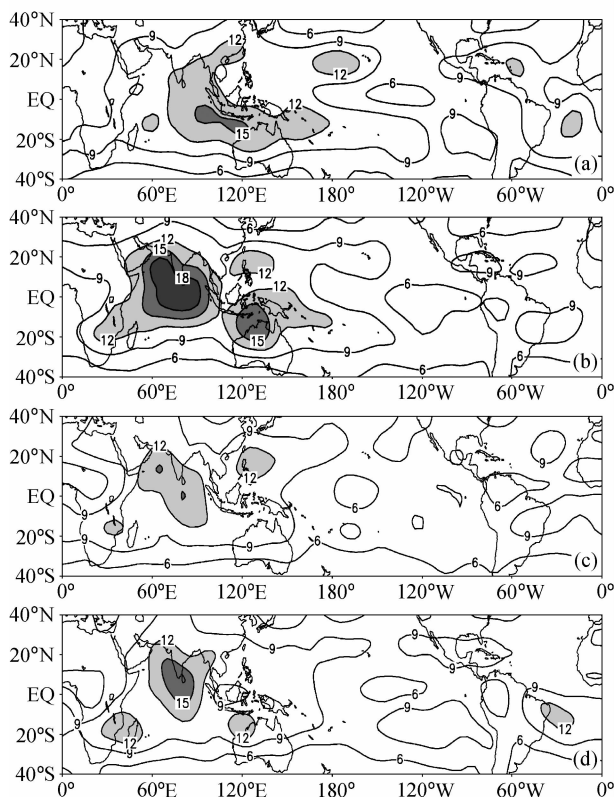


图2 同图1, 但为 ISO 强度百分比分布图。等值线间隔: 3%; 阴影: $>12\%$

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for the ISO intensity percentage. Contour interval is 3%; shaded values $>12\%$

见, 时间系数曲线显示该模态与 ENSO 事件关系密切。OLR 季内振荡强度年际异常与海表温度、辐散风场在一些海域呈显著正相关, 即赤道中、东太平洋 (西北、西南太平洋区域) 海表温度异常升高 (降低), 伴随低层辐散风场的辐合 (辐散) 与高层辐散风场的辐散 (辐合), 相应局地对流增强 (抑制), 局地 OLR 的季内振荡增强 (减弱)。春季, OLR 季内振荡强度异常与 SST 距平和辐散风场异常 (200 hPa、850 hPa) 存在类似冬季的局地关系, 但赤道中、东太平洋区域 OLR 季内振荡强度异常的范围和程度均较冬季减小, 西北、西南太平洋区域和热带印度洋区域异常的范围和程度增大 (图略)。Li et al. (2001) 研究了热带太平洋海表温度年际变化对降水季节内振荡的影响, 指出热带 ISO 的活动强度与局地海表温度的变化成正相关, 最强的正相关在 Nino3 区附近。因为强的对流可能会导致强的降水, 也即代表对流的 OLR 和降水这两个要素具有类似的局地特性, 故本文的结论和 Li et

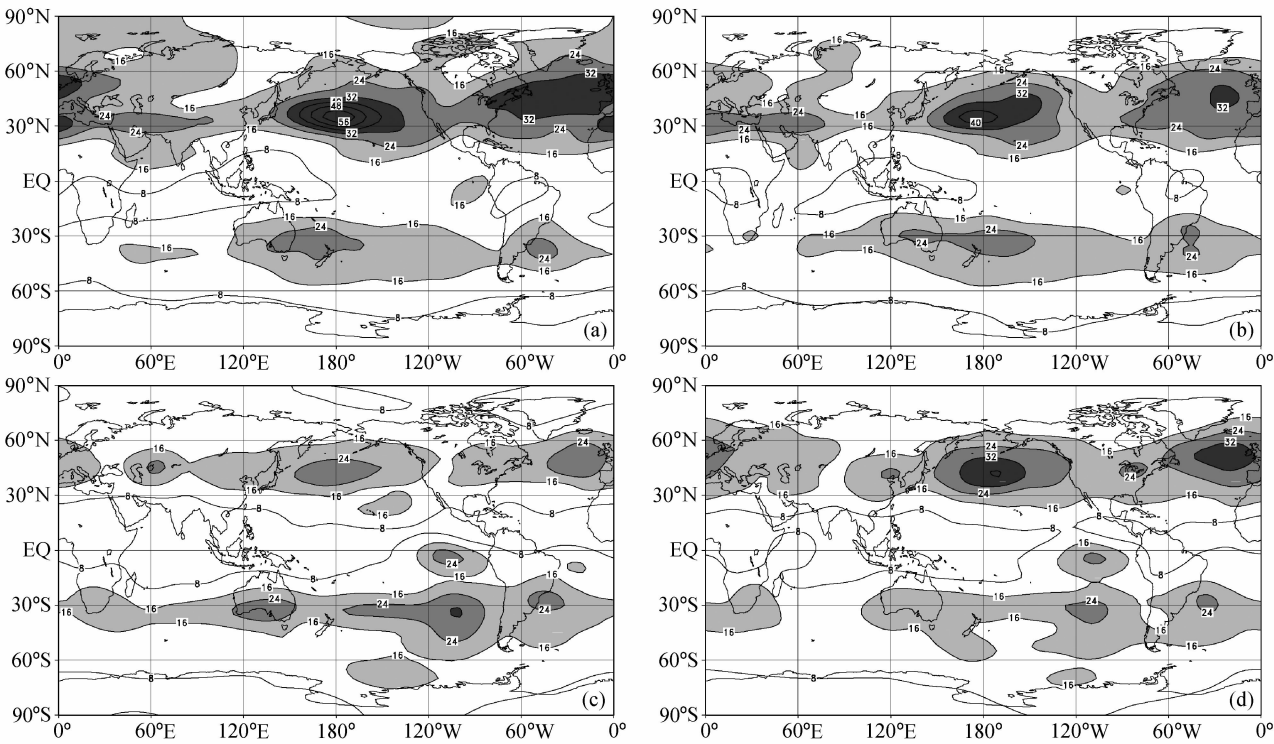


图3 季节平均的200 hPa 纬向风场 ISO 强度分布图。等值线间隔： $8\text{ m}^2/\text{s}^2$ ；阴影： $>16\text{ m}^2/\text{s}^2$ 。其余同图1

Fig. 3 Same as Fig. 1, but for the 200-hPa zonal wind ISO intensity. Contour interval is $8\text{ m}^2/\text{s}^2$; shaded values $>16\text{ m}^2/\text{s}^2$

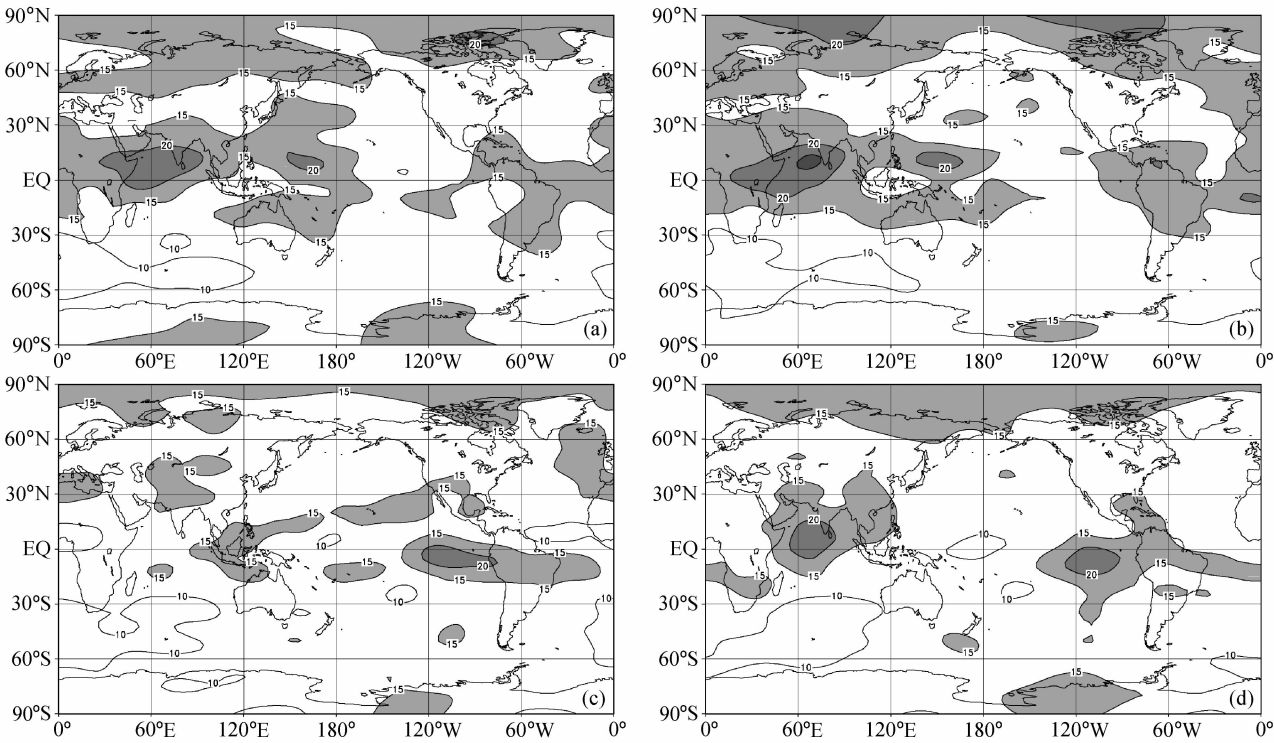


图4 同图3，但为ISO强度百分比图。等值线间隔：5%；阴影： $>15\%$

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for the ISO intensity percentage. Contour interval is 5%; shaded values $>15\%$

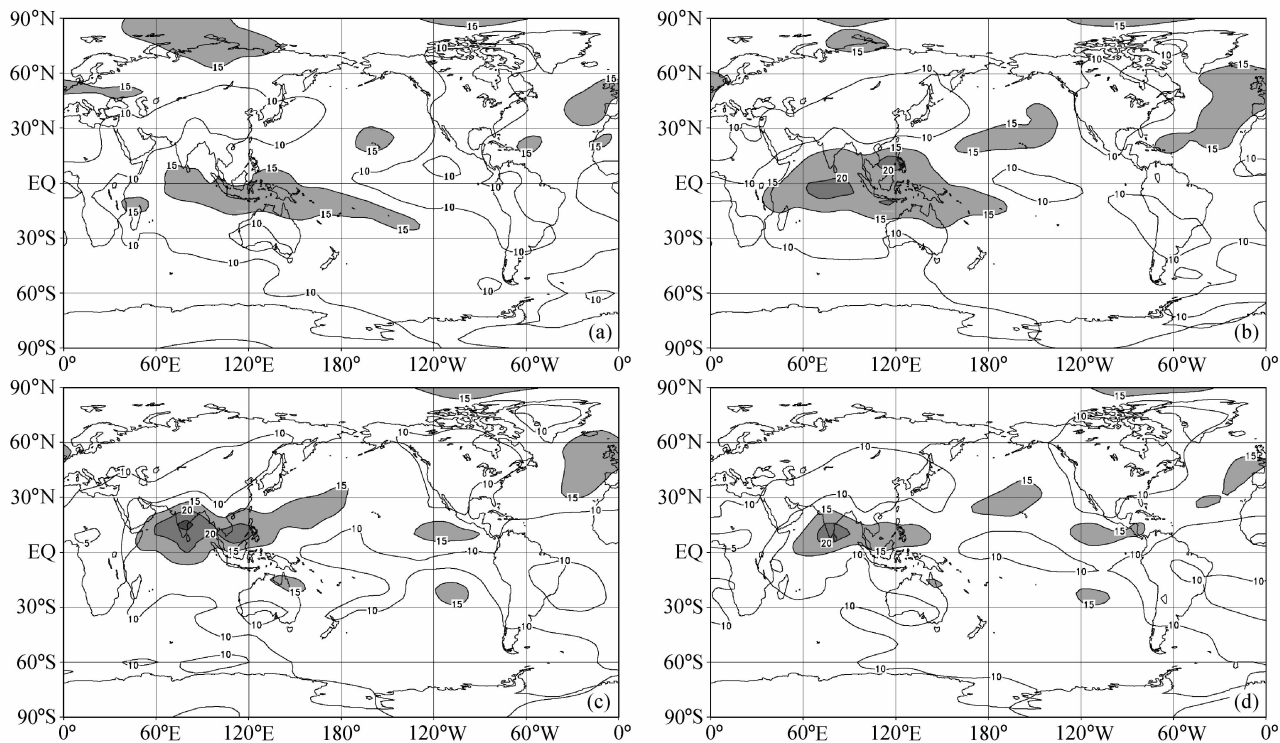


图5 同图4, 但为850 hPa 纬向风场

Fig. 5 Same as Fig. 4, but for 850-hPa zonal wind

al. (2001) 的结论类似。

由夏季(6~8月)OLR季内振荡强度异常与SST距平、辐散风场异常(200hPa、850hPa)的SVD第一奇异向量(图8)及其时间系数(图9)可见,该模态与El Niño(La Niña)事件关系弱于北半球冬春季。除赤道中、东太平洋SST距平、辐散风场异常(200 hPa、850 hPa)与OLR季内振荡强度异常存在类似冬春季的局地关系外,中国华南及南海、热带西太平洋区域OLR季内振荡强度也有显著减弱。Huang等(1992)的研究曾指出,夏季中国长江流域的降水与菲律宾周围的对流活动有负相关的关系,本文得出的这一异常特征可能与中国东部夏季降水异常存在一定关系,有待进一步研究。秋季OLR季内振荡强度异常与SST距平正相关的局地关系更弱(图略)。

综上所述,OLR季内振荡强度年际异常最显著的区域是热带中、东太平洋区域和西北、西南太平洋区域;在这些区域,当海表温度发生正(负)异常,OLR季内振荡会增强(减弱),伴随有低层辐合(辐散)、高层辐散(辐合)的环流异常,并与El Niño(La Niña)事件关系密切;这一关系在冬

春季最清楚,夏秋季略弱。

5 风场季内振荡强度与海表温度年际异常关系

为研究四个季节风场季内振荡强度异常与海表温度异常的年际变化关系,也为方便与上节结果比较,截取三种资料异常场的共同时段,即1978年1月~2001年12月共288个月,空间范围取为(30°S~30°N, 30°E~60°W)。分别对四个季节的风场季内振荡强度异常(200 hPa、850 hPa)与海表温度距平作奇异值分解,第一模态均通过了信度 $\alpha=0.05$ 的Monte Carlo显著性检验,故下面仅分析SVD第一模态。

图10和图11分别给出冬、春两个季节200 hPa风场季内振荡强度异常与海表温度距平的SVD第一奇异向量和时间系数。冬季SVD第一模态解释方差49.6%,其时间系数(图11a)显示与El Niño事件关系较密切。奇异向量场(图10a)中除140°W以东的赤道太平洋区域海温正异常,其上200 hPa风场季内振荡也增强外,其他区域不存在确定局地相关关系。秋季200 hPa风场季内振荡强度异常与

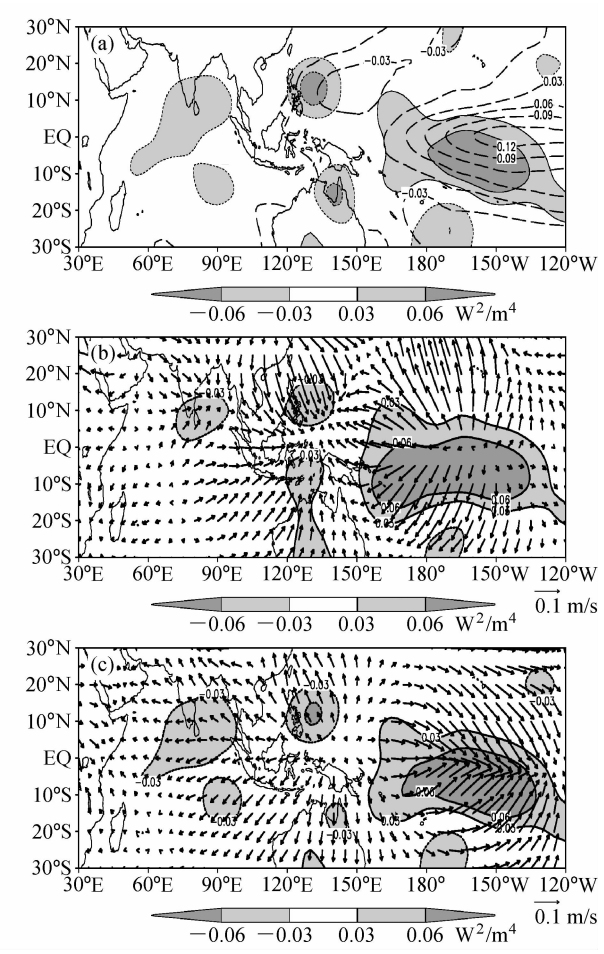


图 6 冬季 SVD 第一奇异向量：(a) OLR 季内振荡强度异常 (阴影) 与 SST 距平 (长虚线等值线, 单位: $^{\circ}\text{C}$)；(b) OLR 季内振荡强度异常 (阴影) 与 200 hPa 辐散风场异常 (矢量)；(c) OLR 季内振荡强度异常 (阴影) 与 850 hPa 辐散风场异常 (矢量)

Fig. 6 The first eigenvectors of the singular value decomposition (SVD) in boreal winter: (a) OLR ISO intensity anomaly (shaded) and SST anomaly (long-dashed contour, units, $^{\circ}\text{C}$); (b) OLR ISO intensity (shaded) and 200-hPa divergence wind anomaly (vector); (c) OLR ISO intensity (shaded) and 850-hPa divergence wind anomaly (vector)

海表温度距平的第一奇异向量 (图略) 分布形态与冬季情形非常类似, 区别仅在于 10°N 以北的热带西太平洋区域风场 ISO 强度较冬季强一些, 赤道东太平洋区域 ISO 较冬季弱一些。

春季, 200 hPa 风场季内振荡强度异常与海表温度距平的 SVD 第一模态解释方差 52.2%。其奇异向量场 (图 10b) 中热带中、东太平洋有海温正异常, 该区域的赤道以北、以南有风场 ISO 强度正异常中心, 其他区域二者不存在确定局地正相关关

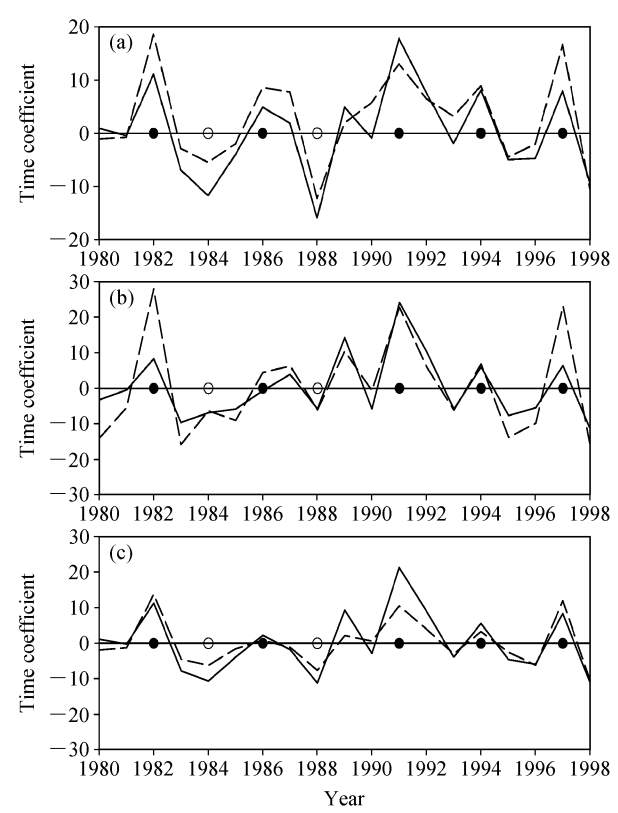


图 7 同图 6, 但为时间系数。实线为 OLR 季内振荡强度异常 ($\times 10^{-2}$); 虚线为 SST 距平、辐散风场异常; ● 对应 El Niño 年, ○ 对应 La Niña 年

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for time coefficients. Solid line; OLR ISO intensity anomaly ($\times 10^{-2}$); dashed lines; SST anomaly and divergence wind anomaly; ●: El Niño events; ○: La Niña events

系。夏季 200 hPa 风场季内振荡强度异常与海表温度距平的 SVD 第一时间系数 (图略) 与 El Niño 事件关系密切程度较冬春季减弱, 其第一奇异向量分布形态与春季形态非常类似 (图略)。

对 850 hPa 风场季内振荡强度异常和海表温度场异常进行了 SVD 分解, 各季模态的时间系数 (图略) 均显示与 El Niño 事件有密切关系, 但奇异向量 (图略) 未显示出二者之间有明确的局地关系。

综上所述, 除 200 hPa 风场季内振荡强度与海表温度异常在热带东太平洋呈局地正相关外, 其他层次和区域二者之间不存在确定的局地相关关系。

6 大气季内振荡强度异常与 El Niño 事件的关系

第 4、5 节的分析特别关注了大气季内振荡强度异常与海表温度异常的局地关系, 但从前面分析

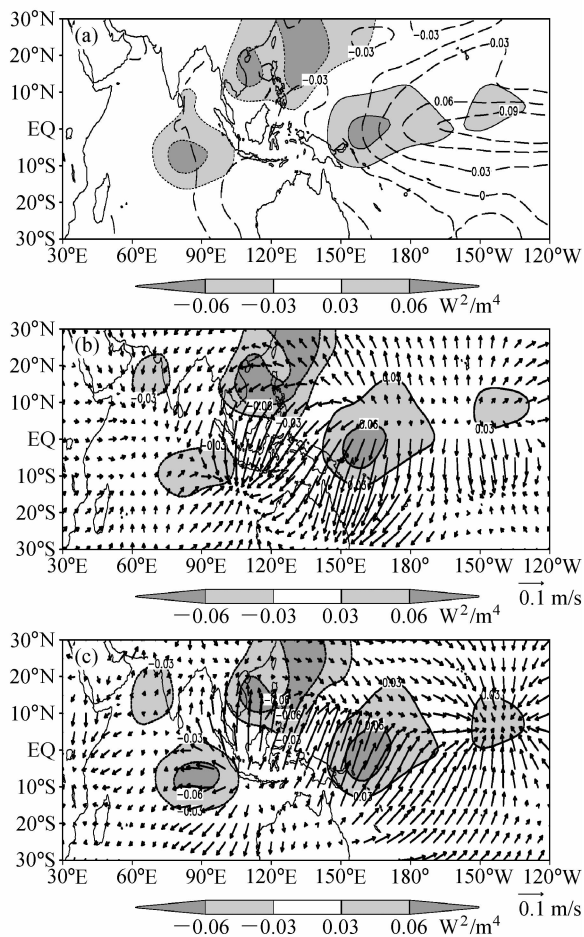


图 8 同图 6, 但为夏季

Fig. 8 Same as Fig. 6, but for boreal summer

也知, 无论是 OLR 场还是风场, 其季内振荡强度年际异常模态均与 El Niño 事件有密切关系, 为了更清楚显示要素场季内振荡强度在 El Niño 事件发展过程中的变化情况, 下面给出 El Niño 事件过程中 OLR 和风场季内振荡强度异常的合成。

6.1 OLR 季内振荡强度与 El Niño 的关系

受 OLR 资料长度的限制, 选 1982~1983、1986~1987、1997~1998 年三次典型的 El Niño 事件 (李晓燕等, 2000) 过程对 OLR 季内振荡强度异常进行合成 (图 12)。可见, 在事件发生的前二个季节 [用 -2、-1、0、1、2 分别表示事件发生之前第二个季、之前第一个季、发生季、发生后第一个季、后第二个季 (下同)], 热带印度洋中东部和菲律宾附近的热带西太平洋区域季内振荡明显增强; 在事件发生前一个季节 (-1), 热带西太平洋区域的季内振荡异常增强并东移至中太平洋区域; 当事件发生时 (0), 季内振荡强度迅速减弱, 热带

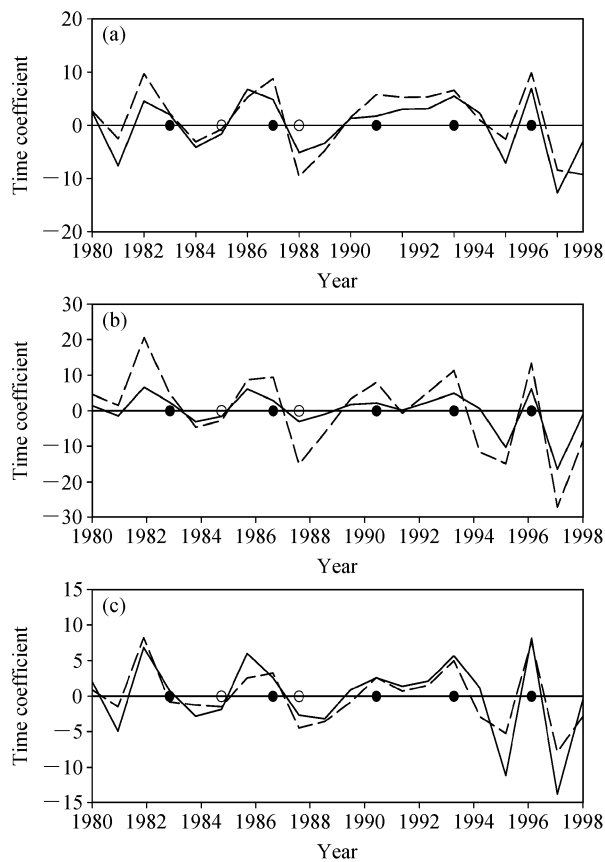


图 9 同图 7, 但为夏季

Fig. 9 Same as Fig. 7, but for boreal summer

印度洋区域以及菲律宾附近的热带西太平洋区域出现负异常, 随后的第一 (1)、第二 (2) 季节这两个区域的季内振荡强度进一步减弱。单独分析三次 El Niño 事件期间 OLR 季内振荡强度异常的演变 (图略), 均存在合成分析中的共同特征。这一结论与前人的研究结果一致 (Madden et al., 1994; 龙振夏等, 2001)。

6.2 风场季内振荡强度与 El Niño 的关系

由于风场资料序列比较长, 故根据 Slingo et al. (1999)、Hendon et al. (1999) 和李晓燕等 (2000), 对 1950~2001 年中的 10 次 El Niño 事件期间的 200 hPa、850 hPa 风场季内振荡强度异常进行合成。

图 13 给出 El Niño 事件期间合成的 200 hPa 风场季内振荡强度异常。可见, 在事件发生的前两个季节, 热带印度洋区域和热带西太平洋区域季内振荡增强并迅速东移, 伴随着事件的发生和发展, 这两个区域的季内振荡先后减弱, 特别是事件发生后的第二个季节, 几乎整个热带印度洋及热带西太平洋区域的季内振荡均减弱。

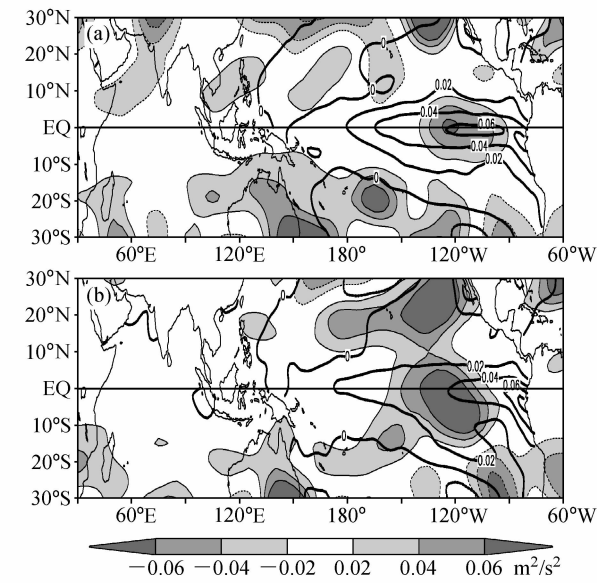


图 10 200 hPa 风场 ISO 强度异常 (阴影) 与海表温度距平 (等值线, 间隔为 0.02°C) 的 SVD 第一奇异向量: (a) 12~2 月; (b) 3~5 月

Fig. 10 SVD first eigenvectors for ISO intensity anomaly of 200-hPa wind field (shaded) and SST anomaly (contour, units, $^{\circ}\text{C}$): (a) Dec-Feb; (b) Mar-May

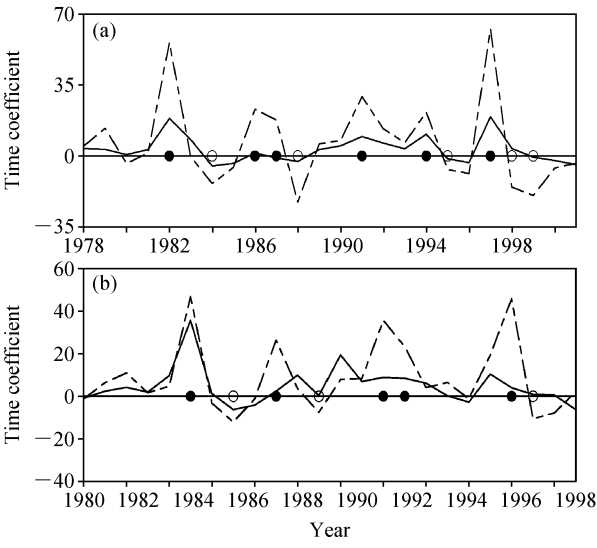


图 11 同图 10, 但为时间系数。实线: 200 hPa 风场季内振荡强度异常 ($\times 10^{-1}$); 虚线: 海表温度距平; ● 对应 El Niño 年, ○ 对应 La Niña 年

Fig. 11 Same as Fig. 10, but for time coefficients. Solid line: ISO intensity anomaly of 200-hPa wind field ($\times 10^{-1}$); dashed line: SST anomaly; ●: El Niño events; ○: La Niña events

图 14 El Niño 事件期间合成的 850 hPa 风场季内振荡强度异常。可见, 事件发生之前的两个季节, 热带西太平洋区域季内振荡增强; 当事件发生

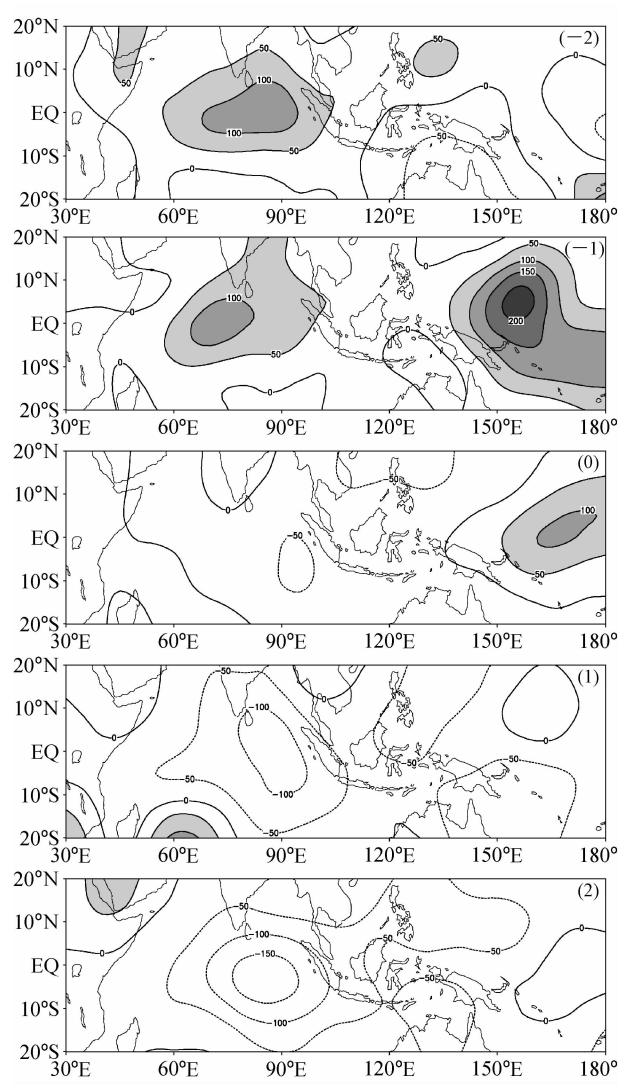


图 12 El Niño 事件期间 OLR ISO 强度异常合成演变图。等值线间隔: $50 \text{ W}^2/\text{m}^4$; 阴影: 强度异常值 $> 50 \text{ W}^2/\text{m}^4$

Fig. 12 Evolution of composite OLR ISO intensity anomalies during the El Niño events. Contour interval: $50 \text{ W}^2/\text{m}^4$, shaded area: $> 50 \text{ W}^2/\text{m}^4$; negative numbers (-2, -1) denote the seasons before the events, 0 denotes the season that the events took place, and positive numbers (1, 2) denote the seasons after the events

时, 强度正异常区域中心东移并减弱, 孟加拉湾到菲律宾附近出现负异常; 到了事件发生后的第二个季节, 热带印度洋至热带西太平洋区域季内振荡几乎全面减弱。

综上, 通过对 El Niño 事件从发展到消亡过程中对流和环流要素季内振荡强度异常合成场分析发现, El Niño 事件发生之前, 热带印度洋和热带西太平洋区域的 OLR 季内振荡增强, 事件发生之后

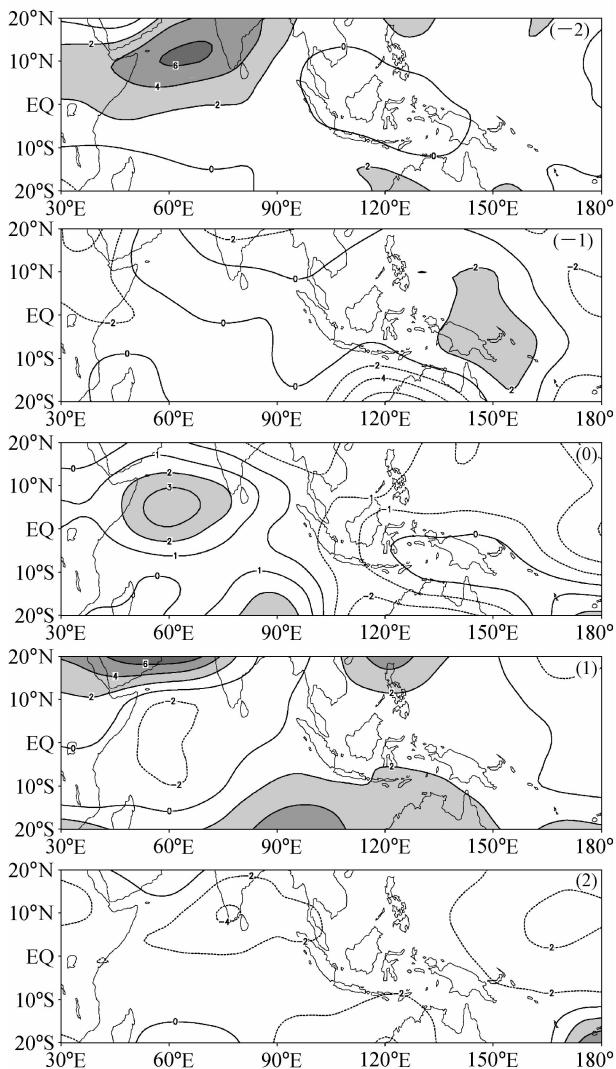


图 13 同图 12, 但为 200 hPa 纬向风场 ISO 强度异常合成季节演变图。等值线间隔: $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$; 阴影: 强度异常值 $> 2 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Fig. 13 Same as Fig. 12, but for composite ISO intensity anomalies of 200-hPa zonal wind. Contour interval: $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$; shaded area: $> 2 \text{ m}^2/\text{s}^2$

振荡减弱。风场季内振荡强度异常的变化在事件发展过程中类似 OLR 的变化情形, 但 850 hPa 风场异常季内振荡在事件发生前(后)在热带西太平洋区域增强(减弱)更显著。龙振夏等(2001)曾指出, 热带中西太平洋区域是 850 hPa 风场季内振荡强度异常的显著区域, 同时也指出, 东亚冬季风年际变化是造成赤道西太平洋大气季内振荡年际变化的重要原因。他们认为, 强东亚冬季风导致赤道西太平洋积云对流加强, 从而激发强大气 30~60 天低频振荡; 这种异常低频振荡对周围大气环流有正反馈作用, 导致积云对流进一步加强, 强积云对流

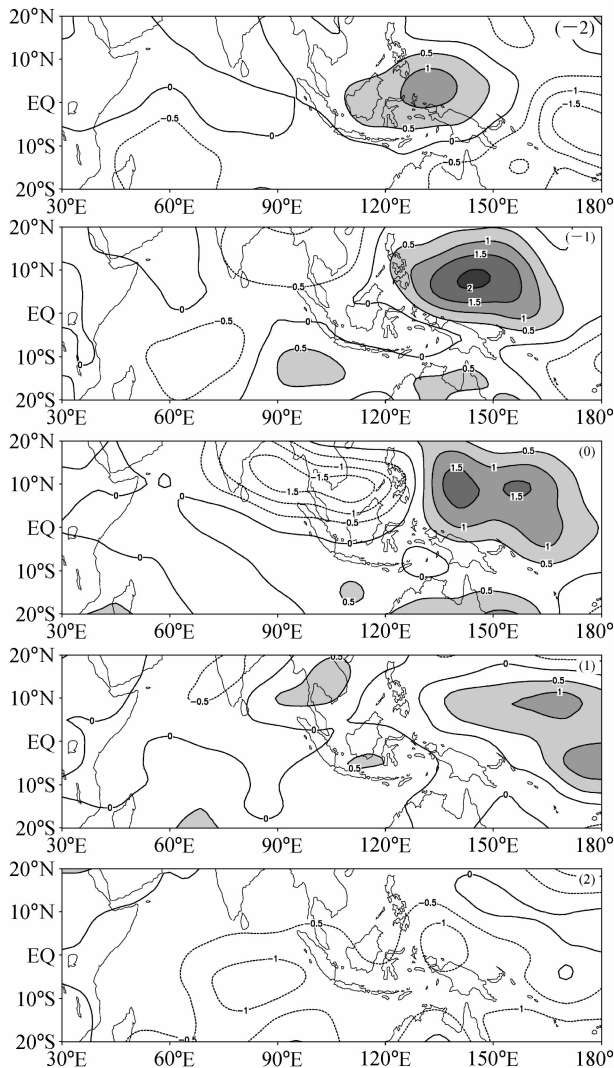


图 14 同图 13, 但为 850 hPa。等值线间隔: 0.5; 阴影: 强度异常值 $> 0.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Fig. 14 Same as Fig. 13, but for 850 hPa. Contour interval: 0.5; shaded area: $> 0.5 \text{ m}^2/\text{s}^2$

会引起赤道西风异常, 伴随低频动能正距平中心东移, 西太平洋积云对流中心也东移, 从而导致 Walker 环流减弱, 加速 El Niño 形成。伴随 El Niño 事件的发生, 热带大气季节内振荡的动能急剧减小, 而准定常扰动动能急剧增大, 说明了在 El Niño 期间热带大气季节内振荡偏弱的原因(李崇银等, 1998b)。

7 结论

本文在分析 OLR 场和风场季内振荡强度季节变化特征基础上, 进一步研究了两种要素季内振荡强度与海表温度之间的年际异常关系, 得到的主要

结论如下:

(1) 热带印度洋、热带西太平洋区域是 OLR 季内振荡最主要的活跃区, 高海温以及伴随的环流场低层辐合、高层辐散决定了这些区域 OLR 季内振荡强度及其位置的季节变化; 热带印度洋、热带西太平洋区域也是对流层高、低层风场季内振荡最重要的活跃区域。

(2) OLR 季内振荡强度异常与海表温度异常之间存在显著局地正相关关系, 即在热带中东太平洋区域、热带西北太平洋区域和热带西南太平洋区域, 海表温度正(负)异常时, OLR 季内振荡增强(减弱), 伴随有低层辐合(辐散)、高层辐散(辐合)的环流异常。这一关系在冬、春季最清楚。对 200 hPa 风场和 850 hPa 风场而言, 除个别区域外, 其季内振荡强度异常与海表温度异常不存在确定的局地关系。

(3) OLR 和风场季内振荡强度异常均与 El Niño 事件存在密切关系。在 El Niño 事件发生之前, 热带印度洋和热带西太平洋区域 OLR 季内振荡增强, 事件发生之后这两个区域季内振荡显著减弱。风场季内振荡强度在 El Niño 事件发生前后也有类似 OLR 的变化, 但 850 hPa 风场异常季内振荡强度异常在热带西太平洋区域更显著, 即 El Niño 事件发生之前, 850 hPa 风场季内振荡在热带西太平洋区域显著增强, 当事件发生之后, 该区域季内振荡显著减弱。东亚冬季风年际变化是造成赤道西太平洋大气季内振荡年际变化的重要原因。这些结论也一定程度反映了大气季内振荡与 El Niño 之间存在相互作用。以往的研究也曾指出二者之间的相互作用, 如 Zhang et al. (1996) 研究中曾指出季节内振荡对 ENSO 事件的发生起重要作用, Tzipermann et al. (1995, 2007) 认为季节内振荡可能与 ENSO 发生的不规则性有关。

(4) OLR 和风场季内振荡强度异常与海表温度异常的局地和非局地关系的差异, 实质上体现了两种要素特性的本质差异。但两种要素季内振荡强度在 El Niño 事件发生前后的变化是基本一致的, 即在气候场中季内振荡活跃的区域, 事件发生之前季内振荡会增强, 事件发生之后振荡会减弱。

(5) 根据上述结论可知, 前人研究的结论之间所以存在一定差异, 一个原因是分析所用资料不同(如用降水或 OLR 和风场资料); 另一个原因是分

析角度造成的差异, 对风场这个要素, 从其与海表温度年际异常的局地关系这个角度考虑, 二者之间的年际异常关系是弱的, 但如果从 El Niño 事件发展过程来看, 一些区域(如热带印度洋和热带西太平洋)季内振荡强度的变化又是与 El Niño 事件密切相关的。所以要比较全面了解大气季内振荡强度变化与 El Niño 事件的关系, 需要注意上述两点。

参考文献 (References)

- Anyambra E K, Weare B C. 1995. Temporal variability of the 40–50-day oscillation in the tropical convection [J]. *Int. J. Climatol.*, 15: 379–402.
- Bergman J W, Hendon H H, Weickmann K M. 2001. Intraseasonal air–sea interaction at the onset of El Niño [J]. *J. Climate*, 14: 1702–1719.
- 陈隆勋, 谢安, Murakami T. 1987. 向外长波辐射资料揭示的 El Niño 和 30–60 天振荡的关系 [M]. 气象科技文集. 北京: 气象出版社, 26–35.
- Chen L X, Xie A, Murakami T. 1987. The relationship of El Niño and 30–60-day oscillation disclosed by outer long-wave radiation data [M]. *Atmospheric Science and Technology Corpus (in Chinese)*. Beijing: China Meteorological Press, 26–35.
- 丁一汇. 1989. 天气动力学中的诊断分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 293pp.
- Ding Y H. 1989. Diagnosis Method in Synoptic Dynamics (in Chinese) [M]. Beijing: Science Press, 293pp.
- Duchon C E. 1979. Lanczos filtering in one and two dimensions [J]. *J. Appl. Meteor.*, 18: 1016–1021.
- 董敏, 李崇银. 2007. 热带季节内振荡模拟研究的若干进展 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1113–1122.
- Dong M, Li C Y. 2007. Some progress in the simulation study of the intraseasonal oscillation of the tropical atmosphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (6): 1113–1122.
- Harrison D E, Schopf P S. 1984. Kelvin-wave-induced anomalous advection and the onset of surface warming in El Niño events [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 112: 923–933.
- Hendon H H, Zhang C, Glick J D. 1999. Interannual variation of the Madden-Julian oscillation during austral summer [J]. *J. Climate*, 12: 2538–2550.
- Huang R H, Sun F Y. 1992. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 70: 243–257.
- 蒋国荣, 刘庭杰, 何金海. 2005. 热带大气季节内振荡研究新进展 [J]. *南京气象学院学报*, 28 (2): 281–288.
- Jiang G R, Liu T J, He J H. 2005. New progresses in research on tropical intraseasonal oscillations [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 28 (2): 281–288.
- 琚建华, 孙丹, 吕俊梅. 2008. 东亚季风区大气季节内振荡经向与纬向传播特征分析 [J]. *大气科学*, 32 (3): 523–529.
- Jü J H,

- Sun D, Lü J M. 2008. The relay character analysis of the zonal and longitudinal propagations of the atmospheric intraseasonal oscillation in the East Asian monsoon region [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (3): 523–529.
- Kessler W S, Kleeman R. 2000. Rectification of the Madden-Julian oscillation into the ENSO cycle [J]. *J. Climate*, 13: 3560–3575.
- Knutson T R, Weickmann K M, Kutzbach J E. 1986. Global-scale intraseasonal oscillations of outgoing longwave radiation and 250 mb zonal wind during Northern Hemisphere summer [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 14: 605–623.
- Kousky V E, Kayano M T. 1994. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250 mb circulation for the South American sector [J]. *J. Climate*, 7: 1131–1141.
- Lau W K M, Waliser D E. 2005. *Intraseasonal Variability in the Atmosphere–Ocean Climate System* [M]. UK: Praxis Publishing, 436pp.
- 李崇银, 周亚萍. 1994. 热带大气季节内振荡和 ENSO 的相互关系 [J]. *地球物理学报*, 37 (1): 17–26. Li C Y, Zhou Y P. 1994. The relationship between intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere and ENSO [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 37 (1): 17–26.
- 李崇银, 廖青海. 1998a. 热带大气季节内振荡激发 El Niño 的机制 [J]. *热带气象学报*, 14 (2): 97–105. Li C Y, Liao Q H. 1998a. Exciting mechanism of tropical intraseasonal oscillation for El Niño event [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 14 (2): 97–105.
- 李崇银, 李桂龙. 1998b. 热带大气季节内振荡的进一步分析 [J]. *气候与环境研究*, 3 (1): 27–37. Li C Y, Li G L. 1998b. A further analysis on intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 3 (1): 27–37.
- 李崇银. 2004. 大气季节内振荡研究的新进展 [J]. *自然科学进展*, 14 (7): 734–741. Li C Y. 2004. New progresses in research on atmospheric intraseasonal oscillations [J]. *Progress in Natural Science (in Chinese)*, 14 (7): 734–741.
- 李丽平, 王盘兴, 管兆勇, 等. 2008. 热带对流季内振荡强度异常特征及其与海表温度的关系 [J]. *应用气象学报*, 19 (2): 145–152. Li L P, Wang P X, Guan Z Y, et al. 2008. Characteristics of tropical convection intraseasonal oscillation anomaly and their relationship with sea surface temperature [J]. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 19 (2): 145–152.
- Li W, Yu R C, Zhang X H. 2001. Impacts of sea surface temperature in the tropical Pacific on interannual variability of Madden-Julian oscillation in precipitation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18 (3): 429–444.
- 李晓燕, 翟盘茂. 2000. ENSO 事件指数与指标研究 [J]. *气象学报*, 58 (1): 102–109. Li X Y, Zhai P M. 2000. On indices and indicators of ENSO episodes [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 58 (1): 102–109.
- 刘芸芸, 俞永强, 何金海, 等. 2006. 全球变暖背景下热带大气季节内振荡的变化特征及数值模拟 [J]. *气象学报*, 64 (6): 723–733. Liu Y Y, Yu Y Q, He J H, et al. 2006. Characteristics and numerical simulation of the tropical intraseasonal oscillations under global warming [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 64 (6): 723–733.
- 龙振夏, 李崇银. 2001. 热带低层大气 30~60 天低频动能的年际变化与 ENSO 循环 [J]. *大气科学*, 25 (6): 798–808. Long Z X, Li C Y. 2001. Interannual variability of 30–60 day low-frequency kinetic energy in the lower tropical atmosphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 25 (6): 798–808.
- Madden R A, Julian P R. 1994. Observations of the 40–50-day tropical oscillation—A review [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 122: 814–837.
- Slingo J M, Sperber K R, Boyle J S, et al. 1996. Intraseasonal oscillations in 15 atmospheric general circulation models: Results from an AMIP diagnostics subproject [J]. *Climate Dyn.*, 12: 325–375.
- Slingo J M, Rowell D P, Sperber K R, et al. 1999. On the predictability of the interannual behavior of the Madden-Julian oscillation and its relationship with El Niño [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 125: 583–610.
- Tziperman E, Cane M A, Zebiak S E. 1995. Irregularity and locking to the seasonal cycle in an ENSO prediction model as explained by the quasi-periodicity route to chaos [J]. *J. Atmos. Sci.*, 52: 293–306.
- Tziperman E, Yu L. 2007. Quantifying the dependence of westerly wind bursts on the large-scale tropical Pacific SST [J]. *J. Climate*, 20 (12): 2760–2768.
- Wang B. 2005. *Theory*. [M]// Lau W K M, Waliser D E. *Intraseasonal Variability in the Atmosphere–Ocean Climate System*. UK: Praxis Publishing, 307–360.
- 王盘兴, 周伟灿, 王欣, 等. 1997. 气象向量场的奇异值分解方法及其应用 [J]. *南京气象学院学报*, 20 (2): 152–157. Wang P X, Zhou W C, Wang X, et al. 1997. The singular value decomposition and its applications in the vector fields [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 20 (2): 152–157.
- 俞永强, 蒋国荣, 何金海. 2007. 大气季节内振荡的数值模拟 II. 全球变暖的影响 [J]. *大气科学*, 31 (4): 577–585. Yu Y Q, Jiang G R, He J H. 2007. Numerical simulation of the intraseasonal oscillation. Part II: Impact of global warming [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31 (4): 577–585.
- Zebiak S E. 1989. On the 30–60 day oscillation and the prediction of El Niño [J]. *J. Climate*, 2: 1381–1387.
- Zhang C. 1996. Atmospheric intraseasonal variability at the surface in the tropical western Pacific Ocean [J]. *J. Atmos. Sci.*, 53: 739–758.
- Zhang C. 2005. Madden-Julian Oscillation [J]. *Reviews of Geophysics*, 43: RG2003, doi: 10.1029/2004RG000158.